能量限制对三黄鸡补偿生长及肠道结构的影响

刘路路[1] 祁东风[1] 闫冰雪[1] 霍文颖[1,2] 张雯雯[1] 王 婷[1] 黄艳群[1] 陈 文[1*]

（1.河南农业大学饲料营养河南省工程实验室，河南农业大学国家家养动物种质资源平台，郑州 450002；2.河南牧业经济学院，郑州 450003）

摘 要：本试验旨在研究能量限制对三黄鸡补偿生长及肠道结构的影响，选用 72 只 15 日龄三黄母鸡，随机分为 3 个组：自由采食组（对照组）、15%能量限制组（试验 1 组）和 30%能量限制组（试验 2 组），限饲 15 d（30 日龄）、补偿生长 14 d（44 日龄）和 35 d（65 日龄）后分别屠宰，取其十二指肠、空肠、回肠，测量其肠壁厚度、绒毛高度和隐窝深度。结果表明：1）限饲降低三黄鸡平均日增重（P<0.05），但料重比与对照组相比差异不显著（P>0.05）。补偿生长后，试验组与对照组组间的末重、平均日增重、料重比均差异不显著（P>0.05）。2）限饲增加了十二指肠、空肠、回肠绒毛高度及回肠绒毛高度/隐窝深度（P>0.05）。补偿生长后，十二指肠肠壁厚度变薄（P>0.05），空肠和回肠绒毛高度增加（P>0.05）。本试验表明，能量限制显著降低三黄鸡限饲期生长性能，补偿生长 35 d 后表现出完全补偿生长效应；能量限制在一定程度上改善了三黄鸡的小肠肠道形态结构，增加了十二指肠、空肠、回肠绒毛高度。

关键词：能量限制；三黄鸡；补偿生长；肠壁厚度；绒毛高度；隐窝深度

中图分类号：S831.4

随着选育技术和营养水平的不断改进，肉鸡生长速度越来越快，但是肉鸡代谢机能和生理机能并没有随着生长速度的加快和体形的增大而得到加强。限制肉鸡的早期生长是保证鸡体器官均衡发育的有效措施[1-3]。许多肉鸡限饲研究表明：限饲降低肉鸡腹脂沉积[4]、腹水

收稿日期：2015-07-08

基金项目：国家自然科学基金（31372329）

作者简介：刘路路（1990—），女，河南平顶山人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail： 1041846377@qq.com

*通信作者：陈 文，教授，硕士生导师，E-mail: cchenwen@aliyun.com

综合症[5]、猝死综合症[6]和腿病[7]等代谢性疾病的发病率，且适当的早期限饲能够诱发肉鸡补偿性生长[8]。由于限饲后补偿生长的作用，肉仔鸡在出栏时可达到与自由采食组相同的体重[9]。早期限饲诱发肉鸡补偿性生长可能改善了肠道功能结构。家禽对营养物质消化吸收的主要部位在小肠，肠绒毛高度、隐窝深度、肠壁厚度是衡量小肠消化吸收功能的重要指标[10]。

限饲是肉鸡生产中的常规饲养技术[11]，大量试验证明了肉鸡限饲是必要的和可行的[12-16]。但目前对三黄肉鸡的限饲研究几乎是空白。三黄鸡以喙黄、脚黄、皮黄，皮薄骨细，肉质细嫩，肉味香浓而久负盛名，具有较高的经济价值和开发前景[17]，本试验旨在研究不同能量限制水平对三黄鸡补偿生长及肠道结构的影响，为科学的三黄鸡养殖方案提供参考依据，也为生产实践提供指导。

1　材料与方法

1.1　试验动物与设计

试验一：限饲试验（15~30日龄）：选用1日龄快速型三黄肉仔鸡（母苗、黄羽）200只，1~14日龄让其自由采食，15日龄选取体重相近的72只鸡，随机分配到3个组：自由采食组（对照组）、15%能量限制组（试验1组）和30%能量限制组（试验2组），单笼饲养，每组24只，每只鸡为1个重复，在限饲15 d（30日龄）后称重，每组挑选接近平均体重的7只鸡进行屠宰，取样。

试验二：补偿生长试验（30~65 日龄）：限饲试验结束后，试验 1、2 组剩余鸡只恢复自由采食，单笼饲养，开展补偿生长研究；3 个组分别在补偿生长期 14 d（44 日龄）和 35 d（65 日龄）时进行称重，统计饲料消耗，并且每个阶段每组挑选接近平均体重的 6 只鸡屠宰，取样。

1.2　试验饲粮

饲粮配制参照我国《鸡饲养标准》（2004），限饲阶段对照组饲粮参照黄羽肉小鸡标准进行配制，自由采食，每天称量采食量，并以此计算试验 1、2 组第二天的饲喂量；而试验 1、2 组配制的饲粮，能量水平与对照组饲粮一致，调整试验饲粮其他养分浓度，通过控制试验组采食量（以对照组采食量为基础，分别限制 15%和 30％的采食量），保证试验 1、2 组摄入的能量比对照组分别低 15%和 30%外，摄入的其他各养分量均与对照组相同。补偿

生长阶段试验饲粮参照黄羽肉中鸡标准进行配制。试验饲粮组成和营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets（air-dry basis）　%

项目 Items	限饲试验 Feed restricted trials[1)]			补偿生长试验 Compensatory growth trials[2)]
	对照组 Control group	试验 1 组 Trial group 1	试验 2 组 Trial group 2	对照组、试验 1 组、试验 2 组 Control group, trial group 1, trial group 2
原料 Ingredients				
玉米 Corn	65.84	55.49	38.10	67.64
豆油 Soybean oil	0.10	1.25	3.51	1.20
去皮豆粕 Dehulled soybean meal (CP 46%)	26.95	33.32	46.72	24.41
鱼粉 Fish meal (CP 65%)	2.45	4.84	5.50	2.80
石粉 $CaCO_3$	1.34	1.44	1.65	1.23
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.52	1.65	2.18	1.20
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.24	0.29	0.15
赖氨酸 Lys	0.18	0.10		
蛋氨酸 Met	0.12	0.14	0.19	0.07
食盐 NaCl	0.30	0.35	0.43	0.30
预混料 Premix[3)]	1.00	1.18	1.43	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00

营养水平 Nutrient levels[4)]				
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.12	12.12	12.12	12.54
粗蛋白质 CP	20.00	23.53	28.57	19.00
钙 Ca	1.00	1.18	1.43	0.90
总磷 TP	0.67	0.75	0.90	0.61
非植酸磷 NPP	0.45	0.53	0.64	0.40
赖氨酸 Lys	1.22	1.44	1.75	1.02
蛋氨酸 Met	0.46	0.54	0.66	0.40
半胱氨酸 Cys	0.34	0.38	0.45	0.33

[1)]限饲试验为15日龄至30日龄，共计15 d。Experiment of feed restriction was 15 to 30 days of age, a total of 15 days.

[2)] 补偿生长试验为30日龄至65日龄，共计35 d。Experiment of compensatory growth was 30 to 65 days of age, a total of 35 days.

[3)] 预混料为每千克饲粮提供 Premix provides the following per kg of the diet:VA 2 700 IU，VD 3 400 IU，VE 10 IU，VK 0.5 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 5 mg，VB_6 3.0 mg，VB_{12} 0.007 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，泛酸 pantothenic acid 10 mg，叶酸 fo-lic acid 0.50 mg，生物素 biotin 0.10 mg，胆碱 chloride 750 mg，Cu 8 mg，Zn 80 mg，Fe 80 mg，Mn 80 mg，Se 0.30 mg，I 0.7 mg。

[4)] 营养水平为计算值。Nutrient levels are calculated values.

1.3 饲养管理

本试验在河南农业大学动物试验房进行，试验鸡均采用单笼饲养，饲喂粉料，日喂 2 次，能量限制 1、2 组的饲喂量是自由采食组的 85%和 70%，自由饮水，每周带鸡消毒 2 次，定时清扫卫生，控制好其正常生长所需温度和湿度，每日 23 h 光照，并做好日常记录工作

（各组鸡只采食、饮水、精神状态等），按照肉鸡常规免疫程序进行免疫。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能指标的测定

每天定时称料，记录每天每只鸡的采食量。分别在 30 日龄（限饲 15 d）、44 日龄（补偿生长 14 d）、65 日龄（补偿生长 35 d）禁食 8~12 h 后，早上空腹称重，根据初重、末重、每天采食量，计算各个阶段鸡只平均日增重(average daily gain,ADG)、总采食量(total feed intake,TFI)、料重比。

1.4.2 肠道组织样品的测定

限饲阶段和补偿生长阶段挑选一定数量鸡屠宰后，分别截取十二指肠、空肠、回肠肠道 2 cm，置于10%中性福尔马林溶液中固定，固定时间24 h以上，固定好的肠段经脱水、包埋制作石蜡切片，进行苏木精-伊红（HE）染色[18]，制作十二指肠、空肠、回肠的组织切片，检测肠道结构（肠壁厚度、绒毛高度、隐窝深度）。从十二指肠、空肠、回肠组织切片中选取完整、伸展良好的肠壁、绒毛和隐窝，运用莱卡Qwin软件，每个切片取3个视野，每个视野至少取10根绒毛和20个隐窝进行测量，分别在测微尺显微镜下测定各肠段肠壁厚度、绒毛高度、隐窝深度，并显微拍照和记录数值。

肠壁厚度：浆膜到黏膜下层距离；

绒毛高度：游离于肠腔内的部分，自绒毛基部至顶端作一垂线，此距离即为绒毛长度；

隐窝深度：自隐窝底部至肠壁固有层作一垂线，此距离即为隐窝深度。

绒毛高度/隐窝深度（V/C）：根据绒毛高度和隐窝深度计算得来。

1.5 数据分析

试验数据采用 SPSS 17.0 软件中 one-way ANOVA 进行统计分析，采用 Duncan 氏法多重比较进行差异显著性检验。结果以平均值±标准差（mean±SD）表示，以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结 果

2.1 能量限制对三黄鸡生长性能的影响

由表 2 可见，对三黄鸡进行 15 d 的限饲后，试验 1、2 组末重、平均日增重均显著（$P<0.05$）

低于对照组，且试验 2 组平均日增重显著（P<0.05）低于试验 1 组；对照组料重比与试验组差异不显著（P>0.05）。

表 2　能量限制对三黄鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of feed restriction on performance of Sanhuang chickens　（n=24）

项目 Items	限饲阶段（15~30 日龄） Feed restricted stage (15 to 30 day-old)		
	对照组 Control group	试验 1 组 Trial group 1	试验 2 组 Trial group 2
初重 Initial weight/g	242.04±8.82	242.45±8.18	242.70±8.97
末重 Final weight/g	711.61±39.07[c]	659.5±42.25[b]	587.17±39.56[a]
平均日增重 ADG/g	31.31±2.36[c]	27.79±2.91[b]	22.96±2.47[a]
总采食量 TFI/g	1 014.96±61.76[c]	892.25±48.21[b]	756.07±16.97[a]
料重比 F/G	2.17±0.16	2.15±0.17	2.21±0.21

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)。表 3 和表 4 同。

In the same row， values with different small letter superscripts mean significant difference（P<0.05）， while with the same or no letter superscripts mean no significant difference（P>0.05）. The same as Table 3 and Table 4.

2.2　能量限制对三黄鸡补偿生长性能的影响

由表 3 可见，补偿生长 14 d 后，在试验组补偿生长起始阶段初重显著（P<0.05）低于对照组情况下，末重、总采食量均差异不显著（P>0.05），试验 2 组平均日增重显著高于对照组（P<0.05），料重比显著低于对照组（P<0.05），试验 1 组平均日增重、料重比与对照组相比均差异不显著（P>0.05）；限饲-补偿生长 14 d 阶段，试验组末重、平均日增重、料重比与对照组相比均差异不显著（P>0.05），总采食量显著低于对照组（P<0.05），而 2 个试验组之间差异不显著（P>0.05）。

表 3　能量限制对三黄鸡前期补偿生长性能的影响

Table 3　Effects of feed restriction on earlier stage compensatory growth phase of Sanhuang

chickens （n=17）

项目 Items	补偿生长 14 d（30~44 日龄） Compensatory growth 14 d (30 to 44 day-old)			限饲-补偿生长 14 d（15~44 日龄） Feed restriction-14 d of compensatory growth (15 to 44		
	对照组 Control group	试验 1 组 Trial group 1	试验 2 组 Trial group 2	对照组 Control group	试验 1 组 Trial group 1	试验 2 组 Trial group 2
初重 Initial weight/g	691.56±27.03^{c}	638.87±31.21^{b}	568.25±26.03^{a}	240.25±8.57	242.33±8.36	241.44±9.13
末重 Final weight/g	1 299.38±94.31	1 294.47±69.51	1 250.5±66.0	1 299.38±94.31	1 294.47±69.51	1 250.50±66.00
平均日增重 ADG/g	43.42±6.68^{a}	46.84±4.85^{ab}	48.73±3.85^{b}	36.51±3.24	36.28±2.44	34.79±2.16
总采食量 TFI/g	1 673.94±191.96	1 735.6±102.23	1 714.31±146.47	2 671.63±219.95^{a}	2 619.75±128.11^{b}	2 467.44±152.04^{b}
料重比 F/G	2.78±0.22^{b}	2.66±0.20^{b}	2.51±0.13^{a}	2.53±0.13	2.49±0.12	2.45±0.09

由表 4 可见，补偿生长 35 d 后，试验组平均日增重高于对照组，但差异不显著（P>0.05），3 个组之间总采食量差异不显著（P>0.05），而试验 2 组料重比显著低于试验 1 组（P<0.05）。限饲-补偿生长 35 d 阶段，3 个组之间的末重、平均日增重、料重比均差异不显著（P>0.05），但试验 2 组料重比最低。

表 4　能量限制对三黄鸡全期补偿生长性能的影响

Table 4　Effects of compensatory growth phase on the whole period performance of Sanhuang chickens （n=11）

项目 Items	补偿生长 35 d（30~65 日龄） Compensatory growth 35 d (30 to 65 day-old)			限饲-补偿生长 35 d（15~65 日龄） Feed restriction-35 d of compensatory growth (15 to 65		
	对照组 Control group	试验 1 组 Trial group 1	试验 2 组 Trial group 2	对照组 Control	试验 1 组 Trial group 1	试验 2 组 Trial group 2
初重 Initial weight/g	682.33±22.24^{c}	621.29±37.43^{b}	559.33±30.74^{a}	237.43±7.89	244.89±8.72	242.00±9.91
末重 Final weight/g	2 038.43±194.68	2 087.80±203.40	2 029.11±130.83	2 038.43±194.68	2 087.80±203.40	2 029.11±130.83
平均日增重 ADG/g	40.5±3.35	40.77±4.77	42.02±3.42	36.01±3.91	35.4±3.57	35.84±2.36
总采食量 TFI/g	4 544.83±435.38	4 581.14±369.28	4 523.33±412.72	5 407.86±594.16	5 409.69±345.41	5 317.5±420.42
料重比 F/G	3.21±0.15^{ab}	3.23±0.17^{b}	3.07±0.10^{a}	3.01±0.11	3.07±0.15	2.95±0.08

2.3　能量限制对三黄鸡肠道结构的影响

2.3.1　能量限制对三黄鸡肠壁厚度的影响

由表 5 可见，能量限饲至 30 日龄后，试验组与对照组相比，十二指肠、空肠、回肠肠壁厚度均无显著差异（*P*>0.05），试验组十二指肠、空肠肠壁厚度与对照组相比有增厚的趋势；补偿生长至 44 日龄后，试验组与对照组十二指肠、空肠、回肠肠壁厚度均无显著差异（*P*>0.05），试验组十二指肠肠壁厚度与对照组相比有降低的趋势；补偿生长至 65 日龄后，试验组十二指肠肠壁厚度与对照组相比有降低的趋势（*P*>0.05），各个组空肠肠壁厚度也无显著差异（*P*>0.05），对照组回肠肠壁厚度低于试验 2 组（*P*<0.05）和试验 1 组（*P*>0.05）。

表 5　能量限制对三黄鸡肠壁厚度的影响

Table 5　Effects of feed restriction on intestine wall thickness in Sanhuang chickens　　mm

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
限饲阶段（30 日龄）Feed restricted stage (30 day-old)			
对照组 Control group	1.38±0.14	1.13±0.28	1.10±0.28
试验 1 组 Trial group 1	1.40±0.27	1.53±0.26	1.10±0.21
试验 2 组 Trial group 2	1.63±0.21	1.38±0.32	1.10±0.11
补偿生长（44 日龄）Compensatory growth (44 day-old)			
对照组 Control group	1.50±0.18	1.28±0.14	1.20±0.34
试验 1 组 Trial group 1	1.35±0.07	1.35±0.07	1.05±0.14
试验 2 组 Trial group 2	1.42±0.07	1.25±0.25	1.20±0.19
补偿生长（65 日龄）Compensatory growth (65 day-old)			
对照组 Control grope	1.30±0.19	1.19±0.10	1.02±0.10b
试验 1 组 Trial group 1	1.08±0.23	1.30±0.33	1.11±0.14ab
试验 2 组 Trial group 2	1.10±0.16	1.15±0.14	1.20±0.11a

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著(*P*<0.05)，相同或无字母表示差异不显著(*P*>0.05)。下表同。

In the same column， values with different small letter superscripts mean significant difference（*P*<0.05）， while with the same or no letter superscripts mean no significant difference

（*P*>0.05）. The same as below.

2.3.2 能量限制对三黄鸡绒毛高度的影响

由表 6 可见，能量限饲至 30 日龄后，试验组与对照组相比，空肠、回肠绒毛高度有增高趋势（*P*>0.05），试验 2 组十二指肠绒毛高度有高于其他 2 组的趋势（*P*>0.05）；补偿生长至 44 日龄后，试验组与对照组相比，空肠、回肠绒毛高度有增高趋势（*P*>0.05），试验 2 组十二指肠绒毛高度有高于其他 2 组的趋势（*P*>0.05）；补偿生长至 65 日龄后，试验组十二指肠绒毛高度低于试验组，空肠、回肠绒毛高度高于对照组，均差异不显著（*P*>0.05）。

表 6 能量限制对三黄鸡绒毛高度的影响

Table 6 Effects of feed restriction on villus height in Sanhuang chickens mm

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
限饲阶段（30 日龄） Feed restricted stage (30 day-old)			
对照组 Control group	1.13±0.14	0.83±0.25	0.72±0.16
试验 1 组 Trial group 1	1.08±0.17	1.13±0.14	0.90±0.22
试验 2 组 Trial group 2	1.33±0.14	0.94±0.24	0.73±0.05
补偿生长（44 日龄） Compensatory growth (44 day-old)			
对照组 Control group	1.15±0.14	0.93±0.14	0.83±0.30
试验 1 组 Trial group 1	1.00±0.15	1.08±0.24	0.93±0.36
试验 2 组 Trial group 2	1.16±0.19	1.03±0.29	0.90±0.24
补偿生长（65 日龄） Compensatory growth (65 day-old)			
对照组 Control group	0.88±0.27	0.82±0.17	0.68±0.06
试验 1 组 Trial group 1	0.70±0.11	0.91±0.12	0.68±0.13
试验 2 组 Trial group 2	0.80±0.27	0.93±0.11	0.89±0.25

2.3.3 能量限制对三黄鸡隐窝深度的影响

由表 7 可见，能量限饲至 30 日龄后，试验组十二指肠隐窝深度比对照组大，试验 1 组空肠隐窝深度小于对照组，试验组回肠隐窝深度比对照组小，但均差异不显著（*P*>0.05）；

补偿生长至 44 日龄后，试验 2 组十二指肠、回肠隐窝深度比对照组和试验 1 组小（*P*>0.05），试验 1 组空肠隐窝深度比对照组和试验 2 组大（*P*>0.05）；补偿生长至 65 日龄后，试验组与对照组相比，十二指肠、空肠、回肠隐窝深度均差异不显著（*P*>0.05）。

表 7　能量限制对三黄鸡隐窝深度的影响

Table 7　Effects of feed restriction on crypt depth in Sanhuang chickens　　mm

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
限饲阶段（30 日龄） Feed restricted stage (30 day-old)			
对照组 Control group	0.34±0.05	0.32±0.08	0.40±0.08
试验 1 组 Trial group 1	0.36±0.11	0.23±0.1	0.32±0.16
试验 2 组 Trial group 2	0.43±0.15	0.33±0.06	0.26±0.09
补偿生长（44 日龄） Compensatory growth (44 day-old)			
对照组 Control group	0.40±0.10	0.28±0.05	0.27±0.06
试验 1 组 Trial group 1	0.40±0.00	0.36±0.05	0.27±0.06
试验 2 组 Trial group 2	0.35±0.17	0.28±0.10	0.22±0.04
补偿生长（65 日龄） Compensatory growth (65 day-old)			
对照组 Control group	0.30±0.16	0.30±0.09	0.22±0.08
试验 1 组 Trial group 1	0.30±0.14	0.28±0.10	0.20±0.09
试验 2 组 Trial group 2	0.28±0.13	0.28±0.13	0.22±0.08

2.3.4　能量限饲对三黄鸡肠道绒毛高度/隐窝深度的影响

　　由表 8 可见，能量限饲至 30 日龄后，试验 1 组十二指肠、空肠绒毛高度/隐窝深度高于对照组和试验 2 组，试验组回肠绒毛高度/隐窝深度高于对照组，均差异不显著（*P*>0.05）；补偿生长至 44 日龄后，试验 1 组十二指肠绒毛高度/隐窝深度低于对照组和试验 2 组，试验 2 组空肠绒毛高度/隐窝深度高于对照组和试验 1 组，试验组回肠绒毛高度/隐窝深度高于对照组，均差异不显著（*P*>0.05）；补偿生长至 65 日龄后，试验组十二指肠绒毛高度/隐窝深度低于对照组，试验组空肠、回肠绒毛高度/隐窝深度高于对照组，均差异不显著（*P*>0.05）。

表 8　能量限制对三黄鸡绒毛高度/隐窝深度的影响

Table 8 Effects of feed restriction on villus height/crypt depth in Sanhuang chickens

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
限饲阶段（30 日龄） Feed restricted stage (30 day-old)			
对照组 Control group	3.08±1.24	2.88±1.63	1.80±0.10
试验 1 组 Trial group 1	3.27±1.24	3.31±1.35	3.45±1.87
试验 2 组 Trial group 2	2.25±0.35	2.40±0.21	3.06±1.00
补偿生长（44 日龄） Compensatory growth (44 day-old)			
对照组 Control group	3.0±0.75	3.05±1.45	2.35±1.04
试验 1 组 Trial group 1	2.34±0.53	3.02±0.65	3.40±1.07
试验 2 组 Trial group 2	3.0±1.35	3.36±0.98	4.25±1.49
补偿生长（65 日龄） Compensatory growth (65 day-old)			
对照组 Control group	2.98±1.68	2.94±1.17	3.63±1.81
试验 1 组 Trial group 1	2.80±1.30	2.96±1.13	4.02±1.95
试验 2 组 Trial group 2	2.92±1.02	3.04±1.21	3.62±1.44

3 讨 论

3.1 能量限制对三黄鸡生长性能的影响

能量限制及补偿生长效应在三黄鸡生长性能和肠道结构上的报道相对较少。本试验结果显示，试验组限饲至 30 日龄后，末重、平均日增重均显著低于对照组，但料重比差异不显著。王佳伟等[19]对 4~8 周龄哈博德母鸡进行 30%能量限制研究表明，肉鸡 8 周龄的体重、平均日增重显著低于自由采食组，陈继兰等[20]对石歧黄鸡的研究表明，降低饲粮代谢能水平（13.2~11.3 MJ/kg），显著降低试验鸡的平均日增重，Susbilla 等[21]研究表明，限饲自由采食饲料量的 50%，降低了 39 日龄体重，但对饲料转化效率没有影响；本试验与前人试验结果基本一致。但是莫棣华[22]的研究认为，饲粮能量浓度对“广黄”鸡的增重没有影响。

3.2 能量限制对三黄鸡补偿生长性能的影响

大多数研究者建议，通过限饲来诱发肉鸡的补偿性生长应该在生长早期进行，一方面因

为肉鸡早期生长速度较快，另一方面是由于肉鸡生长周期短，在早期进行限饲可使肉鸡有足够的补偿生长时间。本试验补偿生长 14 d 后试验 2 组料重比显著低于对照组和试验 1 组，整个补偿生长 35 d 阶段，试验 2 组料重比低于对照组，差异不显著，这些都证实肉仔鸡能否得到完全补偿生长与限饲程度、补偿生长持续时间等有很大关联。Deaton[23]研究表明，7 到 14 日龄肉鸡饲喂自由采食组 90%的采食量，41 日龄体重不受影响，整个试验期的生长速率也不受影响。苏瑛等[24]研究限饲对爱拔益加肉鸡生产性能的影响，对照组全程自由采食，试验 1 组 4~10 日龄饲喂 75％自由采食量，试验 2 和试验 3 组在 10~16 日龄分别饲喂 75％和 65％自由采食量，结果表明，试验 3 组 49 日龄体重显著高于对照组和试验 2 组，限饲组 1~49 日龄生长速率显著优于对照组。本试验与前人试验均表明，适当的限饲可以使肉鸡后期活动足够的补偿生长效应。而 Lippens 等[25]研究表明当肉仔鸡早期采食量限饲为对照的 90%，限饲时间为 4 d 时，可产生完全的补偿生长，但提高限饲强度，限饲时间超过 8 d 时，肉仔鸡无法恢复正常体重，说明限饲强度和持续时间影响补偿生长效果。

3.3 能量限制对三黄鸡肠道结构的影响

家禽对营养物质消化吸收的主要部位在小肠，因此肠道的发育情况直接影响到家禽机体的消化功能，小肠的正常结构是营养物质消化与吸收的基础。十二指肠介于胃和空肠之间，胰管与胆总管均开口于十二指肠，它既接受胃液，又接受胰液和胆汁的注入，对于消化功能十分重要。空肠的消化和吸收力强，蠕动快，肠内常呈排空状态，回肠是 3 个肠段中肠壁最薄的部位，营养物质在回肠很容易通过浓度依赖性扩散被吸收[26]。肠的肠绒毛高度、隐窝深度、肠壁厚度是衡量小肠消化吸收功能的重要指标[10]。小肠黏膜表面形成绒毛，绒毛内有小肠腺，但没有十二指肠腺[18]。小肠液是由十二指肠腺和肠腺分泌的一种碱性的液体，小肠液分泌量较大，可稀释小肠内的营养物质，使小肠内容物的渗透压与血浆相近，有利于营养物质的吸收，碱性小肠液特别是十二指肠腺的分泌物，对小肠黏膜抵御胃酸的侵蚀有重要保护作用[27]。

3.2.1 能量限制对三黄鸡肠壁厚度的影响

关于能量限制对肠壁厚度的影响几乎未见报道。能量限制与饲粮抗原一样，对肉鸡肠道造成应激反应，限饲强度越高，对鸡只肠道造成的应激越大，试验结果显示，限饲至 30 日

龄后，试验组鸡只十二指肠、空肠肠壁厚度与对照组相比较厚，可能是由于限饲造成的肠道应激引起胰液的大量分泌，代偿性引起肠壁增生增厚[27]。补偿生长后，试验组十二指肠肠壁厚度低于对照组，补偿生长至 65 日龄时，回肠肠壁厚度显著高于对照组，目前未呈见相关文献报道，引起这些变化的具体原因还需进一步验证。

3.2.2 能量限制对三黄鸡绒毛高度的影响

小肠绒毛（intestinal villus）是由肠上皮和固有层共同向肠腔突出形成的细小突起，长约0.35~1.00 mm，可使肠腔表面积扩大约10倍，绒毛多旱梓状、叶状或指状等。肠绒毛的数量、长度和形态结构很大程度上决定消化道的消化吸收功能[28]。小肠黏膜表面皱壁、绒毛和上皮细胞游离面的微绒毛可显著扩大小肠的内表面积，促进小肠对养分的消化和吸收[29]。本试验结果表明，限饲阶段试验组空肠、回肠绒毛高度与对照组相比有增高的趋势，这在一定程度上提高了消化吸收能力；补偿生长后，试验组空肠、回肠绒毛高度高于对照组，这在一定程度提高了空肠、回肠对营养物质的吸收，促进了补偿生长效应。小肠绒毛高度的增加有助于提高动物机体的消化吸收能力[30]。绒毛变短时，肠上皮细胞数减少，对营养物质的消化吸收能力降低，肠绒毛长度增加，消化吸收功能增强，腹泻率降低，生长发育加快[31]。

3.2.3 能量限制对三黄鸡隐窝深度的影响

小肠绒毛高度和隐窝深度可以反映肠道上皮组织的发育程度及其机能[32]。隐窝深度反映了肠上皮细胞的生成率。正常情况下，隐窝基部的细胞不断地分化并向绒毛的端部迁移，形成具有吸收能力的肠上皮细胞，以补充绒毛正常脱落的肠上皮，如果此过程减慢，则隐窝变浅。隐窝变浅表明肠上皮细胞成熟率上升，分泌功能增强[33]。本试验结果显示，限饲后十二指肠隐窝深度变大，空肠、回肠隐窝深度变小，这可能与小肠不同肠段结构不同有关，补偿生长后，试验组十二指肠、空肠、回肠隐窝深度与对照组差异不显著，但有变小的趋势，综合分析比较表明，能量限饲在一定程度上使鸡只肠道隐窝深度变浅，可能促进了肠液的分泌，提高营养物质的消化吸收。

3.2.4 能量限制对三黄鸡绒毛高度/隐窝深度的影响

绒毛高度/隐窝深度是反映肠黏膜形态是否正常的重要指标，综合反映了小肠的功能状态。绒毛高度/隐窝深度上升，则黏膜功能改善，消化吸收功能增强，生长发育加快；绒毛

高度/隐窝深度下降，表明消化吸收功能下降，黏膜受损，消化吸收功能降低[34]。本试验结果表明，对三黄鸡限饲至30日龄后，试验1组十二指肠、空肠和试验1、2组回肠的绒毛高度/隐窝深度增加，补偿生长至44日龄后，试验2组空肠和试验1、2回肠的绒毛高度/隐窝深度增加，继续补偿生长至65日龄后，空肠和回肠的绒毛高度/隐窝深度增加，从而增强肉鸡消化吸收功能，致使肉鸡限饲后获得了较好的补偿生长效应。

4 结　论

① 能量限制显著降低了三黄鸡限饲期生长性能，且经过 35 d 的补偿生长，表现出完全补偿生长效应。

② 能量限制在一定程度上改善了三黄鸡十二指肠、空肠、回肠的肠道形态结构（肠壁厚度、绒毛高度、隐窝深度）。

③ 本试验结果表明，对动物进行限饲，恢复后期营养水平会使其表现出一定的补偿生长效应，这与限饲程度、营养物质性质、恢复生长时间等都有关联。

致谢：感谢河南农业大学牧医工程学院王志祥教授对该文稿所提出的宝贵意见。

参考文献：

[1] INGRAM D K,CUTLER R G,WEINDRUCH R,et al.Dietary restriction and aging:the initiation of a primate study[J].Journal of Gerontology,1990,45(5):B148–B163.

[2] VELTHUIS-TE WIERIK E J,VAN DEN BERG H,SCHAAFSMA G,et al.Energy restriction,a useful intervention to retard human ageing?Results of a feasibility study[J].EuropeanJournal of Clinical Nutrition,1994,48(2):138–148.

[3] HANSEN B C,ORTMEYER H K,BODKIN N L.Prevention of obesity in middle-aged monkeys:food intake during body weight clamp[J].Obesity Research,1995,3(Suppl.2):199s-204s.

[4] SANTOSO U.Effects of early feed restriction On growth,fat accumulation and meat composition in unsexed broiler chickens[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2001,14(11):1585–1591.

[5] 潘家强.早期限饲、肉鸡肺小动脉重构和肺动脉高压综合征关系的研究[D].博士学位论文.南京:南京农业大学,2005.

[6] URDANETA-RINCON M,LEESON S.Quantitative and qualitative feed restriction on growth

characteristics of male broiler chickens[J].Poultry Science,2002,81(5):679–688.

[7] SANTOSO U.Effects of early feed restriction on the occurrence of compensatory growth,feed conversion efficiency,leg abnormality and mortality in unsexed broiler chickens reared in cages[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2002,15(9):1319–1325.

[8] GOVAERTS T,ROOM G,BUYSE J,et al.Early and temporary quantitative food restriction of broiler chickens.2.Effects on allometric growth and growth hormone secretion[J].Britain Poultry Science,2000,41(3):355–362.

[9] JONES G P,FARRELL D J.Early-life food restriction of broiler chickens.Ⅰ.Methods of application,amino acid supplementation and the age at which restrictions should commence [J].Britain Poultry Science,1992,33:579–587.

[10] 李可洲,李宁,黎介寿,等.短链脂肪酸对大鼠移植小肠形态及功能的作用研究[J].世界华人消化杂志,2002,10(6):720–722.

[11] 杨宁.家禽生产学[M].北京:中国农业出版社,2010.

[12] PLAVNIK I,HURWITZ S.Effect of dietary protein,energy,and feed pelleting on the response of chicks to early feed restriction[J].Poultry Science,1989,68(8):1118–1125.

[13] PLAVNIK I,HURWITZ S.Early feed restriction in chicks:effect of age,duration,and sex[J].Poultry Science,1988,67(3):384–390.

[14] PLAVNIK I,MCMURTRY J P,ROSEBROUGH R W.Effects of early feed restriction in broilers.Ⅰ.Growth performance and carcass composition[J].Growth,1986,50(1):68–76.

[15] PLAVNIK I,HURWITZ S.The performance of broiler chicks during and following a severe feed restriction at an early age[J].Poultry Science,1985,64:348–355.

[16] BALOG J M,ANTHONY N B,COOPER M A,et al.Ascites syndrome and related pathologies in feed restricted broilers raised in a hypobaric chamber[J].Poultry Science,2000,79(3):318–323.

[17] 王俊东.兽医药实验室检验技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2005:160–218.

[18] 马仲华,沈和相.家畜解剖学及组织胚胎学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2000.

[19] 王佳伟,黄艳群,陈文,等.限饲对肉仔鸡生产性能及部分血清生化指标的影响[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2009,30(4):30–34.

[20] 陈继兰,吕连山,赵玲,等.石岐黄肉鸡前期日粮适宜的能量和蛋白质水平的研究[J].中国畜牧杂志,1998,34(4):10–11.

[21] SUSBILLA J P,FRANKEL T L,PARKINSON G,et al.Weight of internal organs and carcase yield of early food restricted broilers broilers[J].Britain Poultry Science,1994,35(5):677–685.

[22] 莫棣华.对“广黄”鸡的能量和蛋白质需要的研究[J].广东农业科学,1983(3):27–30.

[23] DEATON J W.The effect of early feed restriction on broiler performance[J].Poultry Science,1995,74(8):1280–1286.

[24] 苏瑛,罗东君,刘俊琼.肉仔鸡早期限制饲养的研究——限饲对肉仔鸡生产性能、腹脂垫及消化道的影响[J].中国饲料,1996(14):20–23.

[25] LIPPENS M,ROOM G,DE GROOTE G,et al.Early and temporary quantitative food restriction of broiler chickens.1.Effects on performance characteristics,mortality and meat quality[J].Britain Poultry Science,2000,41(3):343–354.

[26] 于昱,吕林,罗绪刚,等.锌在肉仔鸡小肠不同部位吸收机理的研究[J].中国农业科学,2008,41(9):2789–2797.

[27] 杨秀平,肖向红.动物生理学[M].北京:高等教育出版社,2009.2.

[28] 魏刚才,郑素玲.家禽肠道黏膜的作用及保护[J].中国家禽,2007,29(11):47–49.

[29] 黄奕生.畜禽组织学与胚胎学[M].成都:成都科技大学出版社,1990.

[30] 朱宪章,刘路路,王志祥,等.发酵饲料对朗德鹅生长性能、产肝性能、肠道黏膜结构及组织器官 ATP 酶活性的影响[J].动物营养学报,2013,25(11):2668–2674.

[31] 张书汁.能量限制对肉鸡肠道结构及血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2009.

[32] HAMPSON D J.Alterations in piglet small intestinal structure at weaning[J].Research in Veterinary Science,1986,40(1):32–40.

[33] 王子旭.锌硒互作对肉鸡肠黏膜结构及黏膜免疫相关细胞影响的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2003.

[34] 马治宇.乳酸菌及其培养液对肉鸡生产性能、肠道菌群及肠道结构的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2008.

Effects of Feed Restriction on Compensatory Growth and Intestinal Structure in Sanhuang Chickens

LIU Lulu[1] QI Dongfeng[1] YAN Bingxue[1] HUO Wenying[1,2] ZHANG Wenwen[1] WANG Ting[1] HUANG Yanqun[1] CHEN Wen[1*]

(1. *Hennan Agricultural University, Feed Nutrition Engineering Laboratory of Henan Province, Hennan Agricultural University National Germplasm Resources Platform for Animals, Zhengzhou* 450002, *China;* 2.*Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou* 450046, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of feed restriction on compensatory growth and intestinal structure in Sanhuang chicken. The 72 female Sanhuang chickens at 15 day-old were fed in this experiment. The chickens were randomly assigned to 3 groups: ad libitum (control group), 15% feed restriction (trial group 1) and 30% feed restriction (trial group 2), chickens were slaughtered to measure intestine wall thickness, villus height, crypt depth of duodenum, jejunum, ileum in feed restriction for 15 days (30 day-old), compensatory growth for 14 days (44 day-old), compensatory growth for 35 days (65day-old), respectively. The results were showed as follows: 1) The average daily gain (ADG) of two experiment groups after feed restriction were lower than that of control group (P<0.05), while there was no significant difference in feed to gain ratio (F/G) (P>0.05). After compensatory growth, there were no significant differences among experiment groups and control group of final weight, ADG and F/G (P>0.05). 2) The villus height of duodenum, jejunum, ileum, and villus height/crypt depth of ileum of chickens were increased by feed restriction (P>0.05). And the intestine wall thickness of duodenum was decreased after compensatory growth, the villus height of jejunum, ileum were increased after compensatory growth (P>0.05). This experiment shows that feed restriction can significantly reduce the growth performance of Sanhuang chickens in feed restriction period, and show a total compensatory growth effect after compensatory growth for 35 d; feed restriction improve the intestinal structure of chickens at a certain extent, enhance the villus height of

duodenum, jejunum and ileum.

Key words: feed restriction; Sanhuang chicken; compensatory growth; intestine wall thickness; villus height; crypt depth

---

*Corresponding author, professor, E-mail: cchenwen@aliyun.com （责任编辑　陈　燕）